

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-328259

(P2001-328259A)

(43) 公開日 平成13年11月27日 (2001. 11. 27)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テーマコード\* (参考)

B 4 1 J 2/045  
2/055

B 4 1 J 3/04

1 0 3 A 2 C 0 5 7

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2000-146992 (P2000-146992)

(22) 出願日 平成12年 5 月18日 (2000. 5. 18)

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目 7 番 1 号

(72) 発明者 奥田 真一

東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内

(74) 代理人 100086759

弁理士 渡辺 喜平

F ターム (参考) 2C057 AF33 AF99 AG44 AG47 AR08

BA04 BA14

(54) 【発明の名称】 インクジェット記録ヘッドの駆動方法及びインクジェット記録装置

(57) 【要約】

【課題】 装置コストや装置サイズの増加及び信頼性や製造歩留まりの低下を招くことなく、滴径 15 μm 以下の微小滴吐出を可能とする。

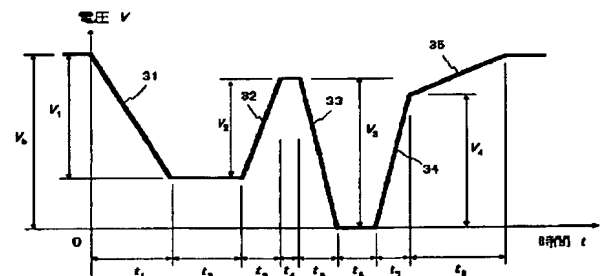
【解決手段】 圧電アクチュエータを駆動する駆動波形は、立ち下げ時間  $t_1$  で圧力発生室を膨張させる第一電圧変化プロセス 31 と、時間  $t_2$  のあいだ電圧を保持した後、立ち上げ時間  $t_3$  で圧力発生室を急激に収縮させる第二電圧変化プロセス 32 と、その直後に圧力発生室を急激に膨張させる第三電圧変化プロセス 33 と、さらにその直後に圧力発生室を圧縮する第四電圧変化プロセス 34 を含み構成される。ここで、 $t_1$  および  $t_2$  が下式の条件を満たすように設定する。

【数 1】

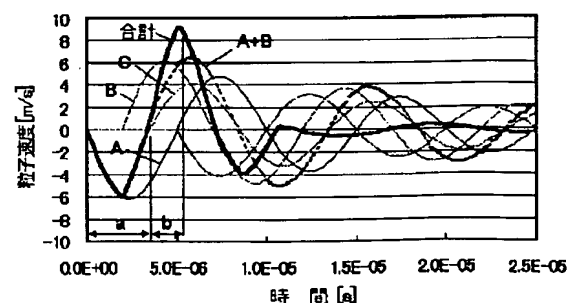
$$t_2 = t_0 - t_1$$

$$t_0 = \frac{T_d}{2\pi} \tan^{-1} \left[ \frac{\sin\left(\frac{2\pi}{T_c} \cdot t\right)}{\cos\left(\frac{2\pi}{T_c} \cdot t\right) - 1} \right]$$

(a)



(b)



(2)

1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 駆動体に駆動電圧を印加し、前記駆動体の駆動によってインクが充填された圧力発生室内に圧力変化を生じさせ、この圧力変化によって前記圧力発生室に連通するノズルからインク滴を吐出させるインクジェット記録ヘッドの駆動方法であって、前記駆動電圧の電圧波形が、前記圧力発生室の体積を膨張させるための第一電圧変化プロセスと、この第一電圧変化プロセスの後に前記圧力発生室の体積を収縮させるための第二電圧変化プロセスとを少なくとも含み、前記第一電圧変化プロセスの電圧変化時間  $t_1$  と、前記第一電圧変化プロセスの終了時刻と前記第二電圧変化プロセスの開始時刻の時間間隔  $t_2$  とが、以下の関係式

【数1】

$$t_2 = t_0 - t_1$$

$$t_0 = \frac{T_c}{2\pi} \tan^{-1} \left[ \frac{\sin\left(\frac{2\pi}{T_c} \cdot t\right)}{\cos\left(\frac{2\pi}{T_c} \cdot t\right) - 1} \right]$$

( $T_c$  : 圧力発生室内における圧力波固有周期) をほぼ満足するように設定することを特徴とするインクジェット記録ヘッドの駆動方法。

【請求項2】 請求項1記載のインクジェット記録ヘッドの駆動方法において、前記時間間隔  $t_2$  が、上記の関係式に代えて、次の関係式

【数2】

$$t_0 - t_1 - 1\mu s \leq t_2 \leq t_0 - t_1 + 3\mu s$$

を満足するように設定することを特徴とするインクジェット記録ヘッドの駆動方法。

【請求項3】 前記第一電圧変化プロセスの電圧変化時間  $t_1$  を、前記固有周期  $T_c$  の  $1/2$  以下に設定するものであることを特徴とする請求項1又は2に記載のインクジェット記録ヘッドの駆動方法。

【請求項4】 前記第二電圧変化プロセスの電圧変化時間を、前記固有周期  $T_c$  の  $1/3$  以下に設定するものであることを特徴とする請求項1乃至3のいずれかに記載のインクジェット記録ヘッドの駆動方法。

【請求項5】 前記駆動電圧の電圧波形が、前記第二電圧変化プロセスの直後に、前記圧力発生室の体積を膨張させるための第三電圧変化プロセスを含み構成されることを特徴とする請求項1乃至4のいずれかに記載のインクジェット記録ヘッドの駆動方法。

【請求項6】 前記第三電圧変化プロセスの電圧変化時間を、前記固有周期  $T_c$  の  $1/3$  以下に設定するものであることを特徴とする請求項1乃至5のいずれかに記載のインクジェット記録ヘッドの駆動方法。

2

【請求項7】 前記第二電圧変化プロセスの終了時刻と、前記第三電圧変化プロセスの開始時刻との時間間隔を、前記固有周期  $T_c$  の  $1/5$  以下に設定するものであることを特徴とする請求項1乃至6のいずれかに記載のインクジェット記録ヘッドの駆動方法。

【請求項8】 前記第三電圧変化プロセスにおける電圧変化量を、前記第二電圧変化プロセスにおける電圧変化量よりも大きく設定することを特徴とする請求項1乃至7のいずれかに記載のインクジェット記録ヘッドの駆動方法。

【請求項9】 前記駆動電圧の電圧波形が、前記第三電圧変化プロセスの直後に、前記圧力発生室の体積を収縮させるための第四電圧変化プロセスを含み構成されることを特徴とする請求項1乃至8のいずれかに記載のインクジェット記録ヘッドの駆動方法。

【請求項10】 前記第四電圧変化プロセスの電圧変化時間を、前記固有周期  $T_c$  の  $1/2$  以下に設定するものであることを特徴とする請求項1乃至9のいずれかに記載のインクジェット記録ヘッドの駆動方法。

【請求項11】 駆動体に所定の駆動電圧を印加する駆動電圧印加手段を有し、この駆動電圧印加手段から印加された駆動電圧に応じた前記駆動体の駆動によってインクが充填された圧力発生室内に圧力変化を生じさせ、前記圧力発生室に連通されるノズルからインク滴を吐出させるインクジェット記録ヘッドを使用して文字や画像の記録を行うインクジェット記録装置であって、前記駆動電圧印加手段は、前記圧力発生室の体積を膨張させるための第一電圧変化プロセスと、次いで前記圧力発生室の体積を収縮させるための第二電圧変化プロセスとを少なくとも含む電圧波形に基づく駆動電圧を前記駆動体に印加するように構成され、前記第一電圧変化プロセスの電圧変化時間  $t_1$  と、前記第一電圧変化プロセスの終了時刻と前記第二電圧変化プロセスの開始時刻の時間間隔  $t_2$  とが次の関係式

【数3】

$$t_2 = t_0 - t_1$$

$$t_0 = \frac{T_c}{2\pi} \tan^{-1} \left[ \frac{\sin\left(\frac{2\pi}{T_c} \cdot t\right)}{\cos\left(\frac{2\pi}{T_c} \cdot t\right) - 1} \right]$$

( $T_c$  : 圧力発生室内における圧力波固有周期) を満足するように設定されていることを特徴とするインクジェット記録装置。

【請求項12】 請求項11記載のインクジェット記録装置において、前記時間間隔  $t_2$  が、上記関係式に代えて以下関係式

(3)

3

【数4】

$$t_0 - t_1 - 1\mu s \leq t_2 \leq t_0 - t_1 + 3\mu s$$

を満足するように設定されていることを特徴とするインクジェット記録装置。

【請求項13】 前記圧力波の固有周期 $T_c$ が $15\mu s$ 以下であることを特徴とする請求項11又は12に記載のインクジェット記録装置。

【請求項14】 前記駆動体が、圧電振動子を含み構成されることを特徴とする請求項11乃至13に記載のインクジェット記録装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、インクジェット記録装置に関し、特に、ノズルから微小なインク滴を吐出して文字や画像の記録を行うインクジェット記録ヘッドの駆動方法及びインクジェット記録装置に関する。

【0002】

【従来技術】ノズルから微小なインク滴を吐出して文字や画像の記録を行うインクジェット記録装置においては、例えば特公昭53-12138号公報や特開平10-193587号公報等で開示されているように、インクが充填された圧力発生室内に、電気エネルギーを振動等の機械的エネルギーに変換する圧電アクチュエータ等のような駆動体を用いて圧力波(音響波)を発生させ、その圧力波によって圧力発生室に連結されたノズルからインク滴を吐出させるドロップオンデマンド型インクジェットがよく知られている。

【0003】図13は、上記公報などで公知のインクジェット記録装置における記録ヘッドの一例を示す図である。圧力発生室61には、インクを吐出するためのノズル62と、共通インク室63を介してインクタンク(図示せず)からインクを導くためのインク供給路64が連結されている。また、圧力発生室の底面には振動板65が設けられている。

【0004】インク滴吐出時には、圧力発生室61外部に設けられた圧電アクチュエータ66によってこの振動板65を変位させ、圧力発生室61に体積変化を生じさせることにより、圧力発生室61内に圧力波を発生させる。この圧力波によって、圧力発生室61内に充填されていたインクの一部がノズル62を通過して外部に噴射され、インク滴67となって飛翔する。飛翔したインク滴は記録紙等の記録媒体上に着弾し、記録ドットを形成する。こうした記録ドットの形成を、画像データに基づいて繰り返し行うことによって、記録紙上に文字や画像が記録される。

【0005】この種のインクジェット記録ヘッドで高い画像品質を得るためには、吐出するインク滴の径を非常に小さく設定することが必要となる。すなわち、粒状感の少ない滑らかな画像を得るには、記録紙上に形成される記録ドット(画素)をできるだけ小さくすることが必

4

要であり、そのためには吐出するインク滴の径を小さく設定しなければならない。

【0006】通常、ドット径が $40\mu m$ 以下になると画像の粒状感は大幅に低下し、さらに $30\mu m$ 以下になると、画像のハイライト部においても個々のドットが目視で認識しづらくなるため、画像品質は飛躍的に向上する。インク滴径とドット径の関係は、インク滴の飛翔速度(滴速)、インク物性(粘度、表面張力)、記録紙種類などに依存するが、通常、ドット径はインク滴径の2倍程度となる。従って、 $30\mu m$ 以下のドット径を得るためには、インク滴の径を $15\mu m$ 以下に設定する必要がある。なお、本明細書において、滴径とは、1回の吐出で排出されるインク総量(サテライトを含む)を1つの球状の滴に置き換えた場合の直径を意味するものとする。

【0007】インク滴径を減少させる最も有効な手段としては、ノズル径の減少が挙げられる。しかし、製造技術的な限界、およびノズル目詰まり等の信頼性の問題から、実際に使用できるノズル径は $20\sim 25\mu m$ 程度が下限であり、ノズル径の減少のみによって $15\mu m$ レベルのインク滴を得ることは困難である。そこで、駆動方法によって吐出インク滴の滴径を減少させる試みがなされ、これまでに、いくつかの有効な方法が提案されている。

【0008】インクジェット記録ヘッドで微小滴の吐出を実行するための駆動方法としては、吐出直前に圧力発生室を一旦膨張させ、ノズル開口部のメニスカスを圧力発生室側に引き込んだ状態からインク滴の吐出を行う駆動方法が知られている(例えば特開昭55-17589号公報)。この種の駆動方法で用いられる駆動波形の一例を図14に示す。なお、駆動電圧と圧電アクチュエータ動作との関係は、アクチュエータの構造や分極方向によって異なるが、本明細書においては、駆動電圧を増加させると圧力発生室の体積が減少し、逆に駆動電圧を減少させると圧力発生室の体積が増加するものとする。

【0009】図14の駆動波形は、圧力発生室を膨張させるための電圧変化部141と、次いで圧力発生室を圧縮し、インク滴の吐出を行うための電圧変化部142によって構成されている。図15は、図14の駆動波形を印加した際におけるノズル開口部のメニスカスの動きを模式的に表わした図である。初期状態においてメニスカスは平坦な形状をしているが(図15(a))、吐出直前に圧力発生室61を膨張させると、メニスカスの中央部分が圧力発生室61側に引き込まれて、図15(b)に示すような凹状に窪んだ形状となる。

【0010】この状態から、電圧変化部142によって圧力発生室61を圧縮させると、図15(c)に示すように、メニスカスの中央部分がノズル41の外側に飛び出して細い液柱43が形成される。そして、図15(d)に示すように、この液柱43の先端部分が分離し

(4)

5

て、インク滴44が形成される。

【0011】このときのインク滴44の滴径は、形成された液柱43の径とほぼ同じで、ノズル41の径よりも小さい。すなわち、こうした駆動方法を用いることにより、ノズル径よりも小さなインク滴を吐出することが可能となる。なお、上記のように、吐出直前のメニスカス形状を制御して微小滴吐出を行う駆動方法のことを、本明細書では以下、「メニスカス制御方式」と呼ぶ。

【0012】上述のように、メニスカス制御方式を用いれば、ノズル径よりも小さな径のインク滴を吐出することが可能となる。しかし、図14のような駆動波形を用いた場合、現実には得られる滴径は $25\mu\text{m}$ 程度が限界であり、近年益々高まりつつあるさらなる高画質化の要求に十分応えることができないといった問題があった。

【0013】そこで本発明者は、さらに微小な滴の吐出を可能とする駆動方法として、図16に示すような駆動波形を特願平10-318443号において提案した。この駆動波形は、吐出直前にメニスカスを引き込むための電圧変化部151、圧力発生室を圧縮して液柱を形成するための電圧変化部152、液柱先端部から滴を早期に分離させるための電圧変化部153、およびインク滴吐出後に残存する圧力波の残響を抑制するための電圧変化部154によって構成されている。

【0014】すなわち、図16の駆動波形は、インク滴の早期分離および残響抑制を目的とした圧力波制御を従来のメニスカス制御方式に加えたもので、これにより滴径 $20\mu\text{m}$ 程度のインク滴を安定的に吐出させることが可能となった。

【0015】また本発明者らは、滴径 $15\mu\text{m}$ 以下の微小滴を吐出する方法として、圧電アクチュエータの固有振動を利用する吐出方式を開発し、図17に示すような駆動波形を特願平11-20613号において開示した。この駆動波形も、図16の駆動波形と同様に、吐出直前にメニスカスを引き込むための電圧変化部161、圧力発生室を圧縮して液柱を形成するための電圧変化部162、液柱先端部から滴を早期に分離させるための電圧変化部163、およびインク滴吐出後に残存する圧力波の残響を抑制するための電圧変化部164によって構成されている。

【0016】この駆動方法では、第二電圧変化プロセスの電圧変化時間 $t_3$ および第三電圧変化プロセスの電圧変化時間 $t_4$ を、圧電アクチュエータ自体の固有周期 $T_a$ と同等もしくはそれ以下に設定している点に特徴がある。そして、圧電アクチュエータ自体の固有振動が励起され、メニスカスに周波数の高い振動を発生させることができるため、これを上記メニスカス制御方式と組み合わせることにより、通常メニスカス制御方式よりも小さな滴を吐出することが可能となる。

【0017】

【発明が解決しようとする課題】しかし、さらに微細な

6

インク滴を得るために圧電アクチュエータの固有振動を利用した上記の駆動方式を用いると、圧電アクチュエータの変形速度が増加するために、アクチュエータの信頼性確保が課題となる。

【0018】また、圧電アクチュエータの固有振動を励起するためには、立ち上げ／立ち下げ時間の非常に小さな駆動波形を圧電アクチュエータに印加する必要があり、そのため圧電アクチュエータの駆動回路に流れる電流値が増大してしまう。駆動回路に流れる電流値が増加すると、スイッチングIC等の回路部品のコストが増大すると共に、回路からの発熱量も増加するため放熱対策も必要となり、駆動回路系のコスト増加および装置サイズの増加を招くという問題もある。

【0019】以上の理由により、圧電アクチュエータの固有振動を利用する駆動方式は未だ実用化されておらず、低価格の装置で $20\mu\text{m}$ 以下の微小滴を吐出することは、現実的には極めて困難であった。

【0020】また、滴径 $20\mu\text{m}$ 以下の微小滴吐出を行う上での別の問題点として、製造ばらつきに起因する吐出特性変化が挙げられる。すなわち、インクジェット記録ヘッドは微細加工技術および精密組立て技術によって製造されるが、部品寸法や製造条件のばらつきによって、ヘッドの吐出特性が微妙に変化してしまう。

【0021】具体的には、圧力発生室に発生する圧力波の固有周期や振幅に変化が生じる。前述のように、メニスカス制御方式による微小滴吐出は、ノズル内部のインクを高精度に制御する技術であるため、そうした吐出特性の変化に非常に敏感であり、吐出特性ばらつき許容範囲が非常に狭くなってしまう。そのため、ヘッド製造時の歩留まりが悪化し、製造コストを大幅に増加させてしまうという問題があった。

【0022】本発明は、上記の問題点を解決すべく考えられたものであり、その目的は、装置コストや装置サイズの増加および信頼性の低下を招くことなく、滴径 $20\mu\text{m}$ 以下の微小滴吐出を可能とするインクジェット記録ヘッドの駆動方法及び装置を提供することである。

【0023】

【課題を解決するための手段】前記目的を達成する本発明のインクジェット記録ヘッドの駆動方法は、駆動体に駆動電圧を印加し、当該駆動体を駆動させて、インクが充填された圧力発生室内に圧力変化を生じさせることで、前記圧力発生室に連通されるノズルからインク滴を吐出させるインクジェット記録ヘッドの駆動方法であって、前記駆動電圧の電圧波形が、前記圧力発生室の体積を膨張させるための第一電圧変化プロセスと、次いで前記圧力発生室の体積を収縮させるための第二電圧変化プロセスとを少なくとも含んで構成され、前記第一電圧変化プロセスの電圧変化時間 $t_1$ と、前記第一電圧変化プロセスの終了時刻と前記第二電圧変化プロセスの開始時刻の時間間隔 $t_2$ を、次の関係式

(5)

7

【数5】

$$t_2 = t_0 - t_1$$

$$t_0 = \frac{T_c}{2\pi} \tan^{-1} \left[ \frac{\sin\left(\frac{2\pi}{T_c} \cdot t\right)}{\cos\left(\frac{2\pi}{T_c} \cdot t\right) - 1} \right]$$

を満足するように設定した方法としてある。ここで、式1中 $T_c$ は前記圧力発生室内における圧力波固有周期である。

【0024】請求項2に記載の発明は、請求項1の $t_2$ の関係を、

【数6】

$$t_0 - t_1 - 1\mu s \leq t_2 \leq t_0 - t_1 + 3\mu s$$

に置き換えた方法としてある。

【0025】本発明の目的は、請求項3乃至12のいずれか一に記載の発明によって達成することができる。すなわち、従来はメニスカス制御による微小滴吐出のメカニズムが完全に明確化されておらず、駆動波形に対しても十分な最適化がなされていなかったのに対し、本発明者らは数多くの吐出観察実験をもとに、前記第一電圧変化プロセスの電圧変化時間 $t_1$ と、前記第一電圧変化プロセスの終了時刻と前記第二電圧変化プロセスの開始時刻の時間間隔 $t_2$ の間に一定の条件を定めることにより、 $20\mu m$ 以下の微小滴吐出が可能になると共に、圧力波固有周期のばらつきに対して鈍感になることを見出した。

【0026】これにより、装置コストや装置サイズの増加、および装置信頼性や製造歩留まりの低下を招くこと

8

なく、 $20\mu m$ 以下の微小滴吐出を可能とすることができた。

【0027】

【発明の実施の形態】本発明の好適な実施形態を、図面を参照しながら詳細に説明する。

【本発明の原理・作用の説明】まず、本発明の原理・作用を、図7～図12を参照しながら、集中定数回路モデルを用いたインクジェット記録ヘッドの理論解析結果をもとに説明する。図7は、インクジェット記録ヘッドの

10 等価電気回路を示す図で、図7(a)は、図13に示したインクジェット記録ヘッドを等価電気回路に置き換えたもの、図7(b)は図7(a)の回路の近似回路である。図7(a)において、 $m$ はイナータンス [ $kg/m^4$ ]、 $r$ は音響抵抗 [ $Ns/m^5$ ]、 $c$ は音響容量 [ $m^5/N$ ]、 $u$ は体積速度 [ $m^3/s$ ]、 $\phi$ は圧力 [ $Pa$ ]を表わし、添字の0は駆動部、1は圧力発生室、2はインク供給路、3はノズルをそれぞれ意味している。

【0028】図7(a)の回路において、圧電アクチュエータに高剛性の積層型圧電アクチュエータを使用する場合には、振動系のイナータンス $m_0$ 、音響抵抗 $r_0$ 、および音響容量 $c_0$ は無視することができる。また、圧力波の解析時には、ノズルの音響容量 $c_3$ も無視することができるため、図7(a)の回路は図7(b)の回路によって近似することが可能となる。

【0029】ノズルと供給路のイナータンスおよび音響抵抗に、 $m_2 = k \cdot m_3$ 、 $r_2 = k \cdot r_3$ の関係が成り立つと仮定し、図8(a)のような立ち上がり角度 $\theta$ をもつ駆動波形を入力した場合について回路解析を行うと、 $0 \leq t \leq t_1$ の時間内におけるノズル部での粒子速度 $v_3'$ は次式のように表わされる( $A_3$ はノズル開口面積)。

【数7】

30

(6)

$$v_3'(t, \theta) = \frac{c_1 \tan \theta}{A_3 \left(1 + \frac{1}{k}\right)} \left[ 1 - \frac{w}{E_c} \exp(-D_c \cdot t) \sin(E_c \cdot t - \phi_0) \right] \quad (0 \leq t \leq t_1) \quad (9)$$

$$E_c = \sqrt{\frac{1 + \frac{1}{k}}{c_1 m_3} - D_c^2}$$

$$D_c = \frac{r_3}{2 m_3}$$

$$w^2 = \frac{1 + 1/k}{c_1 m_3},$$

$$\phi_0 = \tan^{-1} \left( \frac{E_c}{D_c} \right)$$

【0030】図8(b)及び図9のような複雑な形状の駆動波形を用いた場合の粒子速度は、駆動波形の各節(A、B、C、D)で発生する粒子速度を重ね合わせていくことによって求めることができる。すなわち、図8(b)及び図9の駆動波形で発生する粒子速度 $v_3$ は次式のように表わされる。

【数8】

$$\begin{aligned}
 v_3(t) &= v_3'(t, \theta_1) & (0 \leq t < t_1) \\
 v_3(t) &= v_3'(t, \theta_1) + v_3'(t - t_1, \theta_2) & (t_1 \leq t < t_1 + t_2) \\
 v_3(t) &= v_3'(t, \theta_1) + v_3'(t - t_1, \theta_2) + v_3'(t - t_1 - t_2, \theta_3) & (t_1 + t_2 \leq t < t_1 + t_2 + t_3) \\
 v_3(t) &= v_3'(t, \theta_1) + v_3'(t - t_1, \theta_2) + v_3'(t - t_1 - t_2, \theta_3) + v_3'(t - t_1 - t_2 - t_3, \theta_4) & (t \geq t_1 + t_2 + t_3)
 \end{aligned}$$

(7)

12

【0031】図9の駆動波形は、圧力発生室を膨張させ、メニスカスを圧力発生室側に引き込むための第一電圧変化プロセス111と、次いで圧力発生室を収縮させ、メニスカスをノズル外部に向かって押し出すための第二電圧変化プロセス112によって構成されている。図10は、図9の駆動波形に対し、上記の式2を用いて粒子速度 $v_3$ を求めた結果である（式1の振動成分のみを考慮）。図10において、細線はA、B、C、Dの各節で発生するそれぞれの粒子速度を示しており、太線はそれらを重ね合わせた粒子速度、すなわち実際にメニスカスに生じる粒子速度変化を表わしている。

10

【0032】節A、B、Cで発生する粒子速度 $v_A$ 、 $v_B$ 、 $v_C$ の振動成分は、それぞれ次式のように表わせる。なお、以下の説明において、粒子速度の減衰は影響が小さいため無視する。

【数9】

(8)

$$\begin{aligned}
 v_A &= a_A \sin\left(\frac{2\pi}{T_c} \cdot t + \phi_A\right) \\
 &= a_A \sin\left(\frac{2\pi}{T_c} \cdot t + \pi\right) \quad (t > 0)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 v_B &= a_B \sin\left(\frac{2\pi}{T_c} \cdot t + \phi_B\right) \\
 &= a_B \sin\left(\frac{2\pi}{T_c} \cdot t + \frac{2\pi}{T_c} \cdot t_1\right) \quad (t > t_1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 v_C &= a_C \sin\left(\frac{2\pi}{T_c} \cdot t + \phi_C\right) \\
 &= a_C \sin\left(\frac{2\pi}{T_c} \cdot t + \frac{2\pi}{T_c} \cdot (t_1 + t_2)\right) \quad (t > t_1 + t_2)
 \end{aligned}$$

【0033】ここで、 $a_A$ 、 $a_B$ 、 $a_C$ はそれぞれの粒子速度の振幅であり、 $a_A = a_B$ （駆動波形における角度変化量が同一）である。また、 $\phi_A$ 、 $\phi_B$ 、 $\phi_C$ はそれぞれの粒子速度変化の位相であり、 $T_c$ （ $T_c = 2\pi$

30  $/E_c$ ）は圧力波の固有周期である。

【0034】正弦波の重ね合わせにより、 $t_1 < t < (t_1 + t_2)$ での粒子速度は次式で表わされる。

【数10】



(9)

15

$$v_{A+B} = \alpha_{A+B} \sin(E_c \cdot t + \phi_{A+B})$$

$$\begin{aligned} \alpha_{A+B} &= \sqrt{a_A^2 + a_B^2 + 2a_A a_B \cos(\phi_A - \phi_B)} \\ &= a_A \sqrt{2 \{1 + \cos(\phi_A - \phi_B)\}} \end{aligned}$$

$$\tan \phi_{A+B} = \frac{a_A \sin \phi_A + a_B \sin \phi_B}{a_A \cos \phi_A + a_B \cos \phi_B}$$

$$= \frac{\sin(E_c \cdot t_1)}{\cos(E_c \cdot t_1) - 1}$$

【0035】 $t > (t_1 + t_2)$ では、上式で表わされる粒子速度に、さらに節Cで発生する粒子速度が重畳される。このとき、節Cで発生する粒子速度の位相 $\phi_C$ が上式の位相 $\phi_{A+B}$ と一致したときに、 $t > (t_1 + t_2)$ での振幅は最大となる。すなわち、

【数11】

$$t_2 = \frac{T_c}{2\pi} \tan^{-1} \left[ \frac{\sin\left(\frac{2\pi}{T_c} \cdot t\right)}{\cos\left(\frac{2\pi}{T_c} \cdot t\right) - 1} \right] - t_1$$

となるように $t_2$ を設定すれば、 $t < (t_1 + t_2)$ における粒子速度振幅は最大となる。

【0036】図11は、上記式5をもとに、粒子速度振幅を最大とする $t_2$ の値をプロットした結果である( $T_c = 10 \mu s$ として計算)。 $t_1$ の設定値に応じて、最適な $t_2$ が存在することがわかる。上記のように、式5に従って $t_1$ 、 $t_2$ を設定した場合、 $t > (t_1 + t_2)$ の時間範囲では、粒子速度の振幅が急激に増加し、非常に急峻な速度変化が生じる(図10(a)参照)。

【0037】上記のような急峻な速度変化が生じた際のメニスカス形状変化を、図10および図12を参照しながら以下に説明する。図10(a)のような粒子速度変化がメニスカスに加わると、まず、時間範囲aにおいてメニスカスは圧力発生室側へと引き込まれ、凹形状のメニスカスを形成する。次いで、時間範囲bにおいてメニスカスはノズル外側に向かって押し出される。

【0038】前述したように、メニスカスを凹形状にした状態でメニスカスに「押し」を加えると、ノズル中央部に細い液柱が形成される。この液柱の形成メカニズム

16

については詳しく検討された例がないが、本発明者らは、吐出観察実験および流体解析によって、形成される液柱の太さがメニスカスを押し出す際の液面の速度に依存することを明らかにした。

【0039】すなわち、凹形状のメニスカスに対して、外部に押し出す方向に圧力を加えると、図12に示すように、メニスカスの各部は液面の法線方向に移動しようとする。その結果、ノズル中央部に多量のインクが集中し、この局所的な体積増加によってノズル中央部に液柱が形成される。このとき、液面の移動速度が速い場合

(図12(a)に示す場合)には、ノズル中央部での体積増加速度も大きくなるため、非常に細い液柱が速い成長速度で形成される。

【0040】逆に、液面の移動速度が遅い場合(図12(b)に示す場合)には、体積増加の速度も小さくなるため、液柱は太くなり、成長速度も小さくなる。なお、メニスカス制御方式で吐出されるインク滴の滴径は、形成される液柱の太さとほぼ一致する。また、インク滴の飛翔速度(滴速)は液柱の成長速度とほぼ一致する。従って、微小なインク滴を高速で飛翔させるためには、「押し」の際の液面移動速度を増加させ、ノズル中央部で急激な体積増加を生じさせることが重要な条件となる。

【0041】上記のような観点から考えると、図10(a)に示すように、 $t_1$ 、 $t_2$ を式5に従って設定することは、微小滴吐出に非常に有利な条件となることがわかる。すなわち、こうした条件下では、図9の駆動波形における節Aと節Bで生じた粒子速度に対し、節Cで発生する粒子速度の位相が一致するため、 $t > (t_1 + t_2)$ の時間範囲で粒子速度の振幅が急激に増加し、液面の移動速度が大きくなる。そのため、ノズル中央部で急激な体積増加が生じ、細い液柱が形成され、その結

(10)

17

果、非常に微小なインク滴を高速で吐出することが可能となる。

【0042】一方、図9の駆動波形で $t_1$ 、 $t_2$ が式5の条件を満足しなかった場合には、駆動波形の節A、節B及び節Cで発生する粒子速度の位相が一致しなくなる。すなわち、図10(b)に示すように、節A+節Bの合成波と節Cの波の位相が一致しなくなり、それらを重ね合わせた粒子速度(太線で示す)は非常に緩慢な変化となってしまう。こうした条件下では、ノズル中央部での急激な体積増加が発生し難くなるため、形成される液柱の太さは大きくなり、その結果、吐出されるインク滴の径は大きく、滴速は小さくなってしまう(図12(b)参照)。つまり、高画質記録に要求される滴径 $20\mu\text{m}$ 以下の微小滴を得ることは不可能になってしまう。

【0043】また、上記のように、節A+節Bの合成波に対し、節Cで発生する粒子速度の位相を一致させると、圧力波固有周期のばらつきに対して高いロバスト性(鈍感さ)を確保することが可能となる。これは、二つの正弦波を足し合わせた合成波の振幅は二つの正弦波の位相差に依存しており、位相差による振幅の変化率は位相差が0付近であるときに最小になるためである(式(6)参照)。

【0044】つまり、節A+節Bで発生する粒子速度と、節Cで発生する粒子速度の位相を一致させておけば、圧力波の固有周期が設計値からずれ、両者間に位相差が生じた場合にも、合成波の振幅変化は小さく抑えられ、吐出特性への影響を最小限に止めることが可能となる。

【0045】以上述べたように、駆動波形における第一電圧変化プロセスの電圧変化時間(図9の $t_1$ )、および第一電圧変化プロセスの終了時刻と第二電圧変化プロセスの開始時刻との時間間隔(図9の $t_2$ )を式5に従って設定することにより、非常に小さな径のインク滴を高速で吐出させることが可能となると同時に、圧力波固有周期のばらつきに対しても高いロバスト性を確保することが可能となる。なお、本発明のインクジェットヘッドの駆動方式では、駆動回路や圧電アクチュエータ等に特別な変更を加える必要がないため、装置コストや装置サイズの増加、および装置信頼性の低下を招くことがない。

【0046】[インクジェット記録装置の実施形態]次に、上記の原理・作用に基づいて作動する本発明のインクジェット記録装置を、図5、6及び図13を参照しながら詳細に説明する。本発明の一実施形態において、インクジェット記録ヘッドは、図13に示したインクジェット記録ヘッドと同一の基本構造のものを使用した。ヘッドはエッチング等によって穿孔加工された複数の薄板を、接着剤によって積層接合することにより作製した。本実施形態では、厚さ $50\sim 75\mu\text{m}$ のステンレス板を

18

熱硬化性樹脂による接着層(厚さ約 $5\mu\text{m}$ )を用いて接合した。

【0047】ヘッドには複数(図13の紙面垂直方向に配列されている)の圧力発生室61が設けられており、それらは共通インク室63によって連結されている。共通インク室63はインクタンク(図示せず)と連結されており、各圧力発生室61にインクを導く働きをしている。

【0048】各圧力発生室61は、インク供給路64を介して共通インク室63と連通しており、圧力発生室61内はインクで充填されている。また、各圧力発生室61にはインクを吐出するためのノズル62が設けられている。

【0049】この実施形態では、ノズル62およびインク供給路64は同一形状とし、開口径 $30\mu\text{m}$ 、裾径 $65\mu\text{m}$ 、長さ $75\mu\text{m}$ のテーパ形状とした。孔開け加工はプレスにより行った。圧力発生室61の底面には振動板65が設けられており、圧力発生室61の外側に設置された駆動体としての圧電アクチュエータ(圧電振動子)66によって圧力発生室を膨張または圧縮させることが可能となっている。本実施形態では、電鍍(エレクトロフォーミング)で成形したニッケルの薄板を振動板65として用いた。

【0050】圧電アクチュエータ66には積層型圧電セラミクスを用いた。圧力発生室61に変位を加えるための駆動柱の形状は、長さ(L)が $690\mu\text{m}$ 、幅(W)が $1.8\text{mm}$ 、奥行き長さ(図13の紙面垂直方向長さ)が $120\mu\text{m}$ である。使用した圧電材料の密度 $\rho_p$ は $8.0\times 10^3\text{kg}/\text{m}^3$ 、弾性係数 $E_p$ は $68\text{GPa}$ である。実測された圧電アクチュエータ自体の固有周期 $T_a$ は $1.0\mu\text{s}$ であった。

【0051】圧電アクチュエータ66によって圧力発生室61に体積変化を生じさせると、圧力発生室61内に圧力波が発生する。この圧力波によってノズル部62のインクが運動し、ノズル62から外部へ排出されることによりインク滴67が形成される。なお、本実施形態で用いたヘッドの固有周期 $T_c$ は $10\mu\text{s}$ である。また、固有周期 $T_c$ の値は上記値に限定されるわけでないが、 $T_c$ が大き過ぎると微小滴形成が困難となるため、滴径 $15\sim 20\mu\text{m}$ レベルの微小インク滴吐出を実行するためには、 $5\mu\text{s} < T_c \leq 15\mu\text{s}$ の範囲内に固有周期 $T_c$ を設定することが望ましい。

【0052】次に、図5および図6を参照しながら、圧電アクチュエータを駆動するための駆動回路の基本構成について説明する。図5は、吐出するインク滴の径を固定する場合(滴径変調を行わない場合)の駆動回路(駆動電圧印加手段)の一例である。図5に示す駆動回路は、駆動波形信号を発生して電力増幅した後、圧電アクチュエータに供給して駆動することにより、記録紙上に文字や画像を印字させるもので、同図に示すように、波

(11)

19

形発生回路71、増幅回路72、スイッチング回路（トランスファ・ゲート回路）73、および圧電アクチュエータ74とから概略構成されている。

【0053】波形発生回路71は、デジタル・アナログ変換回路と積分回路とから構成され、駆動波形データをアナログ変換した後、積分処理して駆動波形信号を発生する。増幅回路72は、波形発生回路71から供給された駆動波形信号を電圧増幅及び電流増幅して増幅駆動波形信号として出力する。スイッチング回路73は、インク滴吐出のオン・オフ制御を行うもので、画像データをもとに生成された信号に基づいて、駆動波形信号を圧電アクチュエータ74に印加する。

【0054】図6は、吐出させるインク滴の径を多段階に切り替える場合、すなわち滴径変調を実行する場合における駆動回路（駆動電圧印加手段）の基本構成を示している。この例の駆動回路では、滴径を3段階（大滴、中滴、小滴）に変調するために、それぞれの滴径に応じた3種類の波形発生回路81、81'、81''を具備しており、各波形は増幅回路82、82'、82''によって増幅される。記録時には、画像データをもとに、圧電アクチュエータ（84、84'、84''...）に印加される駆動波形がスイッチング回路（83、83'、83''...）によって切り替えられ、所望滴径のインク滴が吐出される。なお、圧電アクチュエータを駆動するための駆動回路は、本実施形態に示した構成のものに限らず、他の構成のものを用いることも可能である。

【0055】次に、図1～図4を参照しながら、本発明のインクジェット記録ヘッドの駆動方法を、上記構成のインクジェット記録装置の作用とともに説明する。

〔駆動方法の第一の実施形態〕図1（a）は、上記のインクジェット記録ヘッドを用いて、滴径20μm程度の微小滴を吐出するために使用した駆動波形の一例を示す図である。駆動波形は、 $t_1 = 2\mu s$ で圧力発生室を膨張させる第一電圧変化プロセス11と、 $t_3 = 1.5\mu s$ の立ち上げ時間で圧力発生室体積を収縮させる第二電圧変化プロセス12と、最終的に電圧を基準電圧（ $V_b = 2.5V$ ）に戻すための電圧変化プロセス15により構成されている。

【0056】第一電圧変化プロセスの終了時刻と第二電圧変化プロセスの開始時刻との時間間隔（ $t_2$ ）は1.5μsに設定した。これは、上述の式5の条件を満たす値である。また、電圧 $V_1$ は1.5V、電圧 $V_2$ は1.2V、 $t_4$ は6μs、 $t_8$ は20μsに設定した。

【0057】図1（a）の駆動波形を用いて吐出実験を行った結果、滴径22μmのインク滴が、滴速6.0m/sで吐出されることが観察された。比較対象として、 $t_1 = 2\mu s$ 、 $t_2 = 3\mu s$ の駆動波形を用いて吐出観察を行った結果、電圧 $V_1$ 、 $V_2$ 等をいかに調整しても、6m/s以上の滴速で吐出できる微小滴の径は25μmが下限であった。

20

【0058】図1（b）は、図1（a）の駆動波形において、 $t_2$ を変化させたときの滴径の変化を調べた結果である。なお、 $t_1$ は2μs、 $V_1$ は1.5Vに固定し、 $V_2$ は滴速が6m/sとなるようにそれぞれ調整した。

【0059】図1（b）を参照すると、 $t_2$ が式5の条件を満たすとき（ $t_2 = 1.5\mu s$ ）に滴径が最小となり、微小滴吐出に最も適した条件であることがわかる。なお、図1（b）からわかるように、微小滴の吐出を実行する上で、式5の条件を厳密に満たす必要は必ずしもなく、式5の条件をほぼ満たしていれば微小滴化の効果をj得ることができる。具体的には、式5で求める $t_2$ の $\pm 1\mu s$ 以内に設定すれば、微小滴化の効果をj得ることができる。

【0060】なお、駆動回路の時間応答特性が低く、駆動波形になまりが生じてしまう場合や、圧力波の減衰速度が大きい場合などには、 $t_2$ の最適値（最小の滴が得られる条件）は式5で求まる値よりも若干大きくなる傾向がある。しかし、そのような場合においても、 $t_2$ の最適値は式5で求まる値と3μs以下の偏差で一致することが本発明者らの実験によって確認されている。従って、 $t_1$ と $t_2$ は、少なくとも次式の関係が成り立つように設定することが望ましい。

【数12】

$$t_0 - t_1 - 1\mu s \leq t_2 \leq t_0 - t_1 + 3\mu s$$

【0061】また、 $t_1$ は、 $0 < t_1 \leq 1/2 \cdot T_c$ の条件を満たしていることが望ましい。なぜならば、 $t_1 > 1/2 \cdot T_c$ に設定すると、節Bおよび節Cで粒子速度が生じる前に、節Aで発生した粒子速度が正に転じてしまうため、メニスカスに急激な速度変化を生じさせることが困難となるためである。さらに、第二電圧変化プロセスの立ち上げ時間（ $t_2$ ）は、液柱形成に十分な粒子速度がメニスカスに生じるよう、可能な限り短い方がよい。具体的には、 $0 < t_2 \leq 1/3 \cdot T_c$ であることが望ましい。

【0062】以上のように、 $t_1$ および $t_2$ を式5を満たすように設定した図1（a）の駆動波形により、滴径20μmレベルの微小滴を安定して得ることが可能になる。本発明のインクジェットヘッドの駆動方法では、駆動波形の立ち上げ/立ち下げ時間を $T_a$ （圧電アクチュエータ自体の固有周期）以下に設定する必要がないため、圧電アクチュエータ自体の固有振動は励起されない。従って、圧電アクチュエータに流れる電流が増大したり、圧電アクチュエータの信頼性が低下することはない。

【0063】なお、本駆動波形を用いた滴径変調記録を実行する場合には、図6に示したような駆動回路において、波形発生回路81で本駆動波形を発生させ、波形発生回路81'、81''で他の滴径に対応した駆動波形を発生させればよい。

【0064】〔駆動方法の第二の実施形態〕図2は、本

(12)

21

発明の第二の実施形態を示す図であり、滴径  $15\mu\text{m}$  程度の微小滴を吐出するために使用した駆動波形である。この駆動波形は、 $t_1 = 2\mu\text{s}$  で圧力発生室を膨張させる第一電圧変化プロセス21と、 $t_3 = 1.5\mu\text{s}$  の立ち上げ時間で圧力発生室体積を収縮させる第二電圧変化プロセス22と、その直後に  $t_5 = 1.5\mu\text{s}$  の立ち下げ時間で圧力発生室を膨張させる第三電圧変化プロセス23と、最終的に電圧を基準電圧 ( $V_b = 25\text{V}$ ) に戻すための電圧変化プロセス25により構成されている。 $t_2$  は、式5の条件を満たすように  $1.5\mu\text{s}$  に設定した。 $t_4$  は  $0.2\mu\text{s}$ 、 $t_6$  は  $6\mu\text{s}$ 、 $t_8$  は  $20\mu\text{s}$  に設定した。また、電圧  $V_1$  は  $15\text{V}$ 、電圧  $V_2$  は  $12\text{V}$  に設定した。

【0065】本実施形態の駆動波形は、第二電圧変化プロセス22の直後に、圧力発生室を急激に膨張させる第三電圧変化プロセス23を含んでいる点の特徴である。この第三電圧変化プロセスは、形成した液柱の先端部から滴を早期に分離させる作用を有しており、第一実施形態の駆動波形に比べて、さらに微小なインク滴吐出が可能になる。実際に、図2の駆動波形を用いて吐出実験を行った結果、滴径  $18\mu\text{m}$  のインク滴が、滴速  $6.2\text{m/s}$  で吐出されることが観察された。第一実施形態の駆動波形(図1(a))よりも更に滴径が減少した理由は、上述したように第三電圧変化プロセスの作用によって滴が早期に分離されたためである。

【0066】なお、滴の早期分離効果を大きくするためには、第二電圧変化プロセスの終了時刻と第三電圧変化プロセスの開始時刻との間隔 ( $t_4$ ) は可能な限り小さく設定することが望ましい。具体的には、 $0 < t_4 \leq 1/5 \cdot T_c$  であることが望ましい。また、早期分離に十分な粒子速度を生じさせるために、第三電圧変化プロセスの立ち下げ時間 ( $t_5$ ) は可能な限り短い方がよい。具体的には、 $0 < t_5 \leq 1/3 T_c$  であることが望ましい。

【0067】図3に、第二の実施形態の駆動波形における固有周期依存性について調べた結果を示す。すなわち、圧力波固有周期が  $7 \sim 13\mu\text{s}$  となるヘッドを作成し、これに本実施形態の駆動波形を印加し、滴速の変化を調べた。その結果、固有周期が設計値通り ( $10\mu\text{s}$ ) のときに滴速は最大となり、固有周期がそれ以上またはそれ以下であるときは、滴速の減少が生じるが、設計値とのずれ量が  $\pm 1.5\mu\text{s}$  の範囲内(図3のグラフ中、一点鎖線で示す範囲内)であれば、滴速変化量は  $\pm 1\text{m/s}$  以内であり、記録結果に大きな影響は発生しないことがわかった(図3(a)参照)。

【0068】一方、 $t_1 = 2\mu\text{s}$ 、 $t_2 = 3\mu\text{s}$  の駆動波形を用いて同様の試験を行った結果、固有周期が  $\pm 1.5\mu\text{s}$  変化すると滴速に  $\pm 3\text{m/s}$  以上の変化が発生すると共に、径の大きなサテライトが発生するなど、吐出状態が大きく変化し、記録結果を著しく悪化させる

22

ことが確認された(図3(b)参照)。以上のように、駆動波形の  $t_1$  および  $t_2$  を、式5を満たすように設定することにより、圧力波の固有周期ばらつきに対して鈍感になり、製造歩留まりを飛躍的に増加させることが可能となる。

【0069】[駆動方法の第三の実施形態] 図4(a)は、本発明の第三の実施形態を示す図であり、滴径  $15\mu\text{m}$  以下の微小滴を吐出するために使用した駆動波形である。この駆動波形は、 $t_1 = 2\mu\text{s}$  で圧力発生室を膨張させる第一電圧変化プロセス31と、 $t_3 = 1.5\mu\text{s}$  の立ち上げ時間で圧力発生室体積を収縮させる第二電圧変化プロセス32と、その直後に  $t_5 = 1.5\mu\text{s}$  の立ち下げ時間で圧力発生室を膨張させる第三電圧変化プロセス33と、さらにその直後に  $t_7 = 2\mu\text{s}$  の立ち上げ時間で圧力発生室を圧縮する第四電圧変化プロセス34と、最終的に電圧を基準電圧 ( $V_b = 25\text{V}$ ) に戻すための電圧変化プロセス35により構成されている。

【0070】 $t_2$  は、式5の条件を満たすように  $1.5\mu\text{s}$  に設定した。 $t_4$  は  $0.2\mu\text{s}$ 、 $t_6$  は  $1.5\mu\text{s}$ 、 $t_8$  は  $15\mu\text{s}$  に設定した。また、 $V_1$  は  $15\text{V}$ 、 $V_2$  は  $12\text{V}$ 、 $V_3$  は  $16\text{V}$ 、 $V_4$  は  $14\text{V}$  に設定した。駆動波形の特徴は、第三電圧プロセス33の電圧変化量  $V_3$  を、第二電圧変化プロセス32の電圧変化量  $V_2$  よりも大きく設定している点と、第三電圧変化プロセス33の直後に、 $t_7 = 2\mu\text{s}$  の立ち上げ時間で圧力発生室を圧縮させる第四電圧変化プロセス34を含んでいる点である。

【0071】この第四電圧変化プロセスは、第一～第三電圧変化プロセスで発生した圧力波の残響を打ち消す作用を有しており、これにより高い駆動周波数でも安定な吐出が可能になる。また、 $V_3 > V_2$  とすることにより、液柱先端からの滴分離をさらに早期化することができ、第二実施形態の駆動波形(図2)に比べて、より一層微小なインク滴吐出が可能になる。

【0072】実際に、図4(a)の駆動波形を用いて吐出実験を行った結果、滴径  $16\mu\text{m}$  のインク滴が、滴速  $6.5\text{m/s}$  で吐出されることが観察された。図4

(b)に、図4(a)の駆動波形を印加した場合の粒子速度変化を計算した結果を示す。 $t_1$  および  $t_2$  を式5を満たすように設定しているため、時間範囲bで急激な速度増加が生じ、さらに電圧変化プロセス33の作用により、時間範囲cで急激な速度減少が生じている。この急激な速度減少により、インク滴が早期に分離され、吐出されるインク滴の径が減少する。

【0073】また、図1(a)および図2の駆動波形では、吐出周波数を  $8\text{kHz}$  以上に設定すると吐出状態が多少不安定化したのに対し、本駆動波形では  $12\text{kHz}$  まで安定吐出が可能になることが確認された。これは、第四電圧変化プロセス34によって圧力波残響が抑制されたため、直前の吐出で発生した圧力波が、次の吐出に

(13)

23

影響を及ぼすことがなくなったためである。図4 (b) の解析結果においても、時間範囲bでは粒子速度変化が非常に小さくなることが示されている。

【0074】また、本駆動波形を用いると、滴の飛翔特性（吐出方向など）も改善されることが確認された。これは、圧力波残響が抑制されたために、吐出直後のメニスカスが安定化し、サテライトの飛翔状態（吐出方向など）が安定／均一化したためである。なお、効果的な残響抑制を行うためには、吐出直後に残響を抑制する必要がある、そのために $t_6$ はできるだけ短い方がよい。具体的には、 $0 < t_6 \leq 1/3 T_c$ であることが望ましい。また、残響抑制用の圧力波を効率的に発生させるためには、第四電圧変化プロセス34の立ち上げ時間（ $t_7$ ）もできるだけ短い方がよく、 $0 < t_7 \leq 1/2 T_c$ であることが望ましい。

【0075】以上、各実施形態について説明したが、本発明は、上記実施形態の構成に限定されるものではない。例えば、上記実施形態では、圧電アクチュエータへの印加電圧が常に正極性となるようにバイアス電圧（基準電圧） $V_b$ を設定したが、圧電アクチュエータに負極性の電圧を印加しても問題ない場合には、バイアス電圧 $V_b$ を0Vなど、他の電圧に設定してもかまわない。

【0076】さらに、圧電アクチュエータには圧電定数 $d_{33}$ を利用した縦振動モードの圧電アクチュエータを用いたが、圧電定数 $d_{31}$ を利用した縦振動モードのアクチュエータなど、他の形態のアクチュエータを使用してもかまわない。

【0077】また、上記実施形態では積層型の圧電アクチュエータを用いたが、単板型の圧電アクチュエータを用いた場合において同様の効果を得ることができる。さらに、圧電アクチュエータ以外の駆動体、たとえば静電力や磁力を利用したアクチュエータを利用したインクジェット記録ヘッドに対しても、本発明を適用することが可能である。

【0078】また、上の実施形態では、図13に示すようなカイザー型インクジェット記録ヘッドを用いたが、圧電アクチュエータに設けた溝を圧力発生室とする記録ヘッドなど、その他の構造のインクジェット記録ヘッドに対しても本発明は同様に適用することが可能である。

【0079】また、上記の実施形態では記録紙上に着色インクを吐出して文字や画像などの記録を行うインクジェット記録装置を例にとったが、本明細書におけるインクジェット記録とは、記録紙上への文字や画像の記録に限定されるものではない。すなわち、記録媒体は紙に限定されるわけではなく、また、吐出する液体も着色インクに限定されるわけではない。例えば、高分子フィルムやガラス上に着色インクを吐出してディスプレイ用のカラーフィルターを作製したり、熔融状態のハンダを基板上に吐出して部品実装用のパンプを形成したりするなど、工業的に用いられる液滴噴射装置一般に対して、本

24

発明を利用することも可能である。

【0080】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、装置コストや装置サイズの増加、および装置信頼性の低下を招くことなく、従来困難であった滴径 $15 \mu m$ レベルの微小滴吐出が可能になると共に、製造ばらつきに対するロバスト性を増加させ、製造歩留まりを飛躍的に向上することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第一の実施形態にかかり、図1 (a) はインクジェット記録ヘッドの駆動波形を示す図、図1 (b) は、図1 (a) の駆動波形において、 $t_2$ を変化させたときの滴径の変化を調べた結果を示すグラフである。

【図2】本発明の第二の実施形態にかかり、インクジェット記録ヘッドの駆動波形を示す図である。

【図3】本実施形態の駆動波形の固有周期依存性について調べた結果を示すグラフである。

【図4】本発明の第三の実施形態にかかり、インクジェット記録ヘッドの駆動波形を示す図である。

【図5】吐出するインク滴の径を固定する場合の駆動回路の一例を示す図である。

【図6】吐出させるインク滴の径を多段階に切り替える場合、すなわち滴径変調を実行する場合における駆動回路の基本構成を示す図である。

【図7】インクジェット記録ヘッドの等価電気回路を示す図で、図7 (a) は、図13に示したインクジェット記録ヘッドを等価電気回路に置き換えたもの、図7 (b) は図7 (a) の回路の近似回路である。

【図8】駆動波形とノズル部粒子速度の関係を説明するための図で、図7 (b) の回路に代入する駆動波形の一例を示すグラフである。

【図9】駆動波形とノズル部粒子速度の関係を説明するための図で、図7 (b) の回路に代入する駆動波形の他の例を示すグラフである。

【図10】図9の駆動波形に対し、式4を用いて粒子速度 $v_3$ を求めた結果を示すグラフである。

【図11】式5をもとに、粒子速度振幅を最大とする $t_2$ の値をプロットした結果を示すグラフである。

【図12】ノズル内の液面の中央部に液柱が形成される様子を説明する図で、図12 (a) は液面の移動速度が速い場合を、図12 (b) は液面の移動速度が遅い場合を示している。

【図13】公知のインクジェット記録装置における記録ヘッドの一例を示す図である。

【図14】本発明の従来例にかかり、特開昭55-17589号公報等で開示された駆動方法に用いられる駆動波形の一例を示すグラフである。

【図15】図14の駆動波形を印加した際におけるノズル開口部のメニスカスの変化を、模式的に表わした図で

(14)

25

ある。

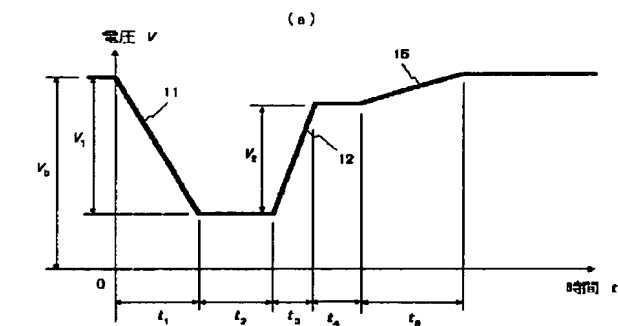
【図16】特願平10-318443号で提案された駆動方法における駆動波形を示すグラフである。

【図17】特願平11-20613号で提案された駆動方法における駆動波形を示すグラフである。

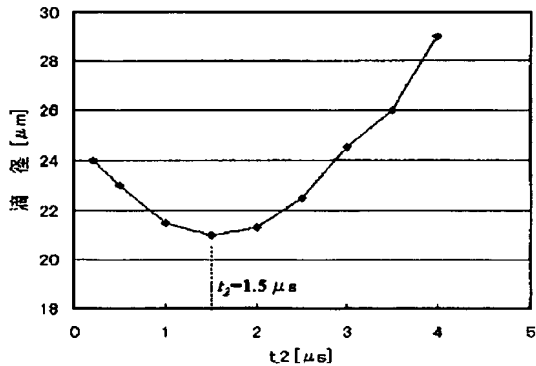
【符号の説明】

- 31 第一電圧変化プロセス  
32 第二電圧変化プロセス  
33 第三電圧変化プロセス

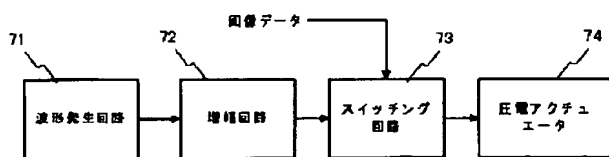
【図1】



(b)



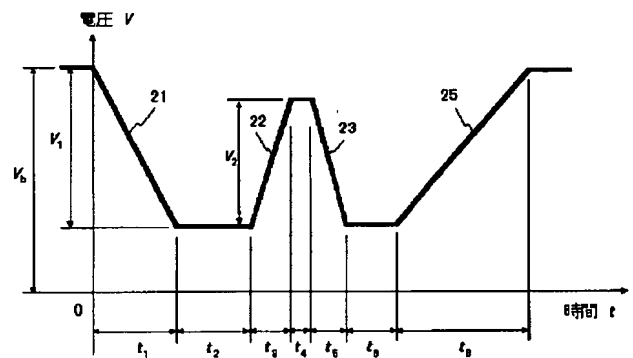
【図5】



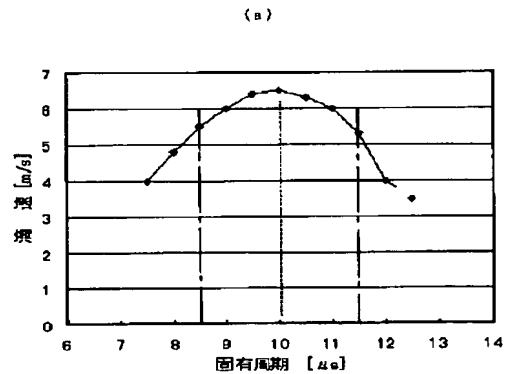
26

- 34 第四電圧変化プロセス  
61 圧力発生室  
62 ノズル  
63 共通インク室  
64 インク供給路  
65 振動板  
66 圧電アクチュエータ (駆動体)  
71, 81, 81', 81'' 波形発生回路

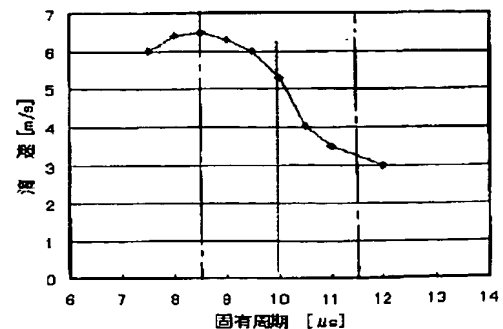
【図2】



【図3】

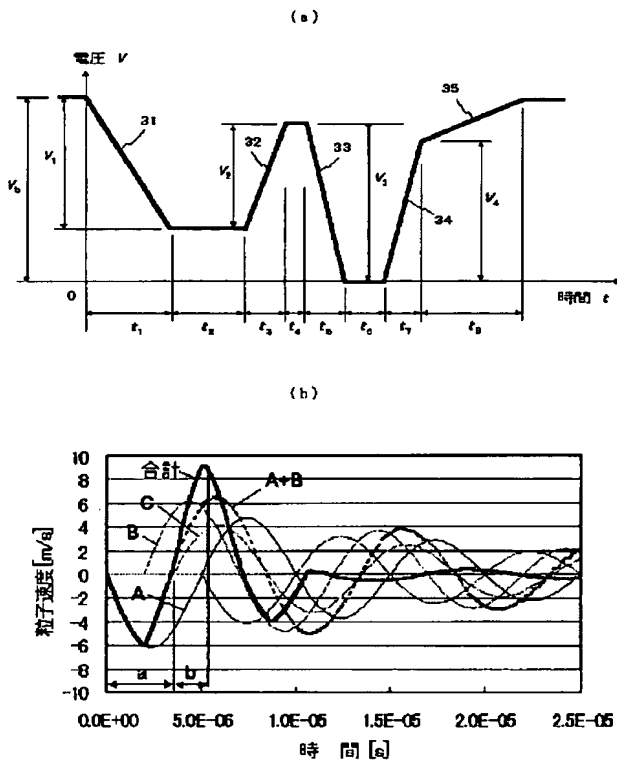


(b)

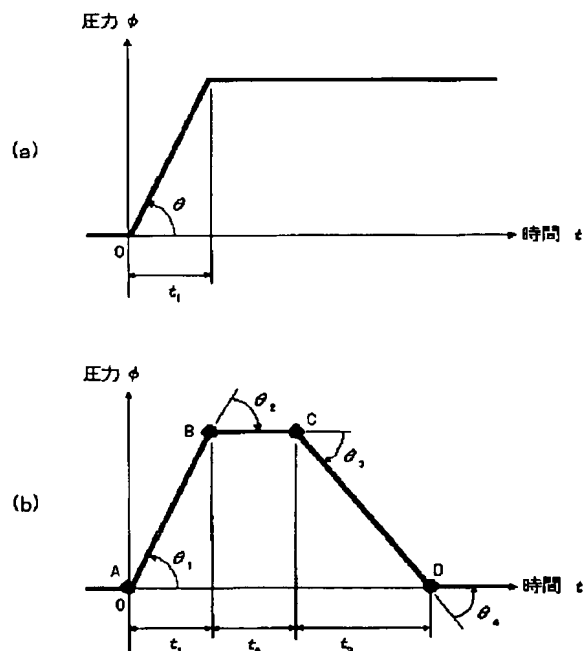


(15)

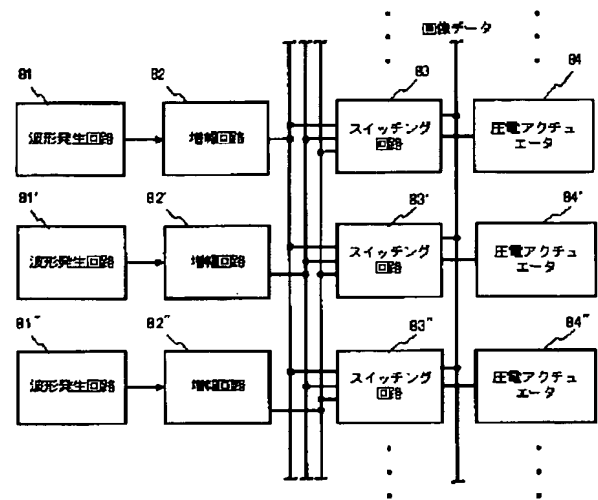
【図4】



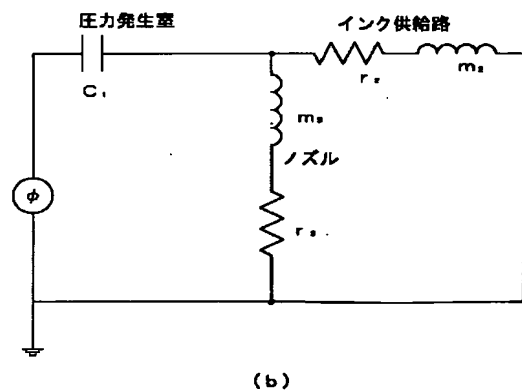
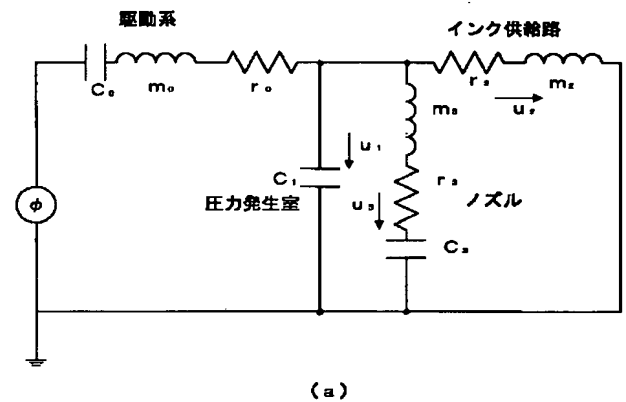
【図8】



【図6】

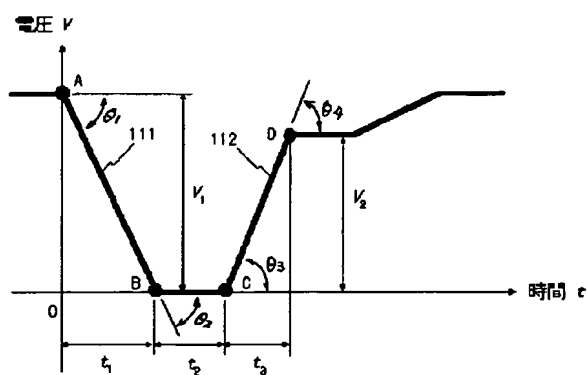


【図7】

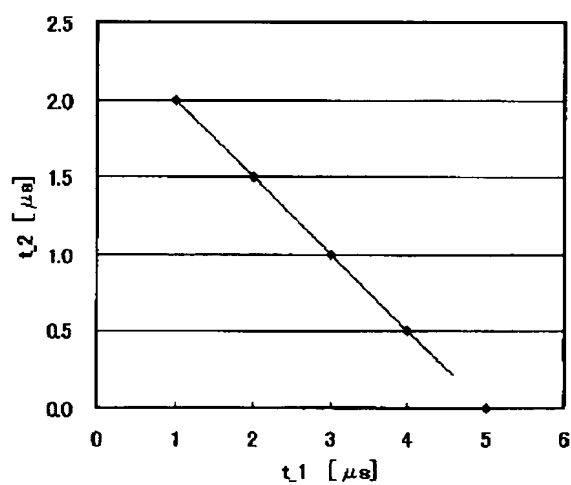


(16)

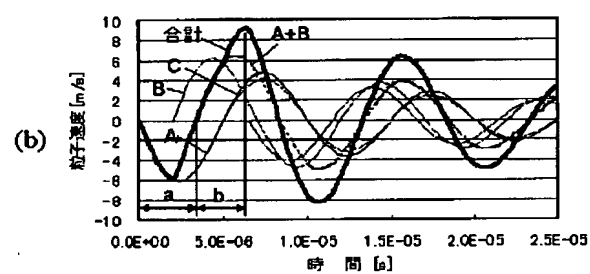
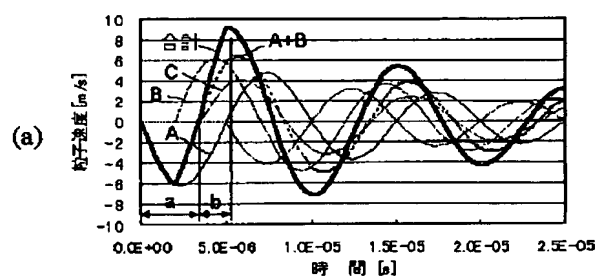
【図9】



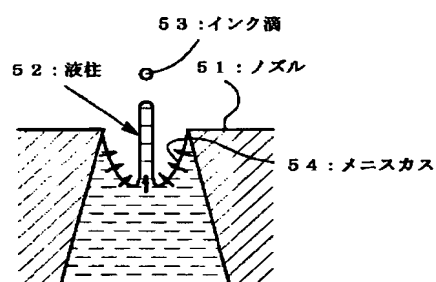
【図11】



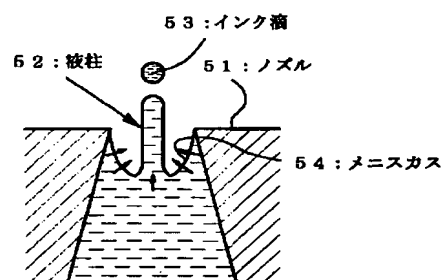
【図10】



【図12】



(a)

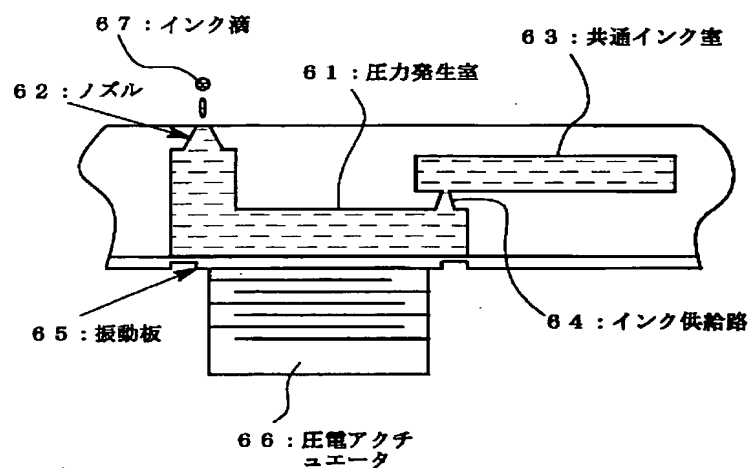


(b)

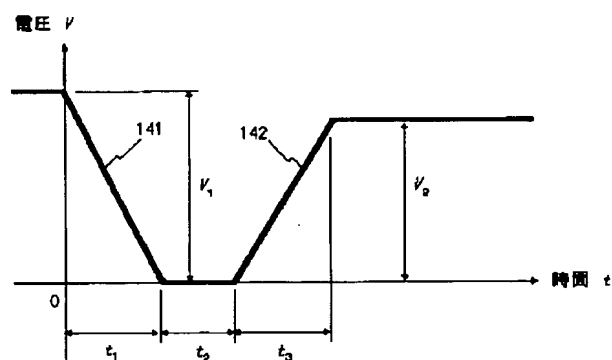


(17)

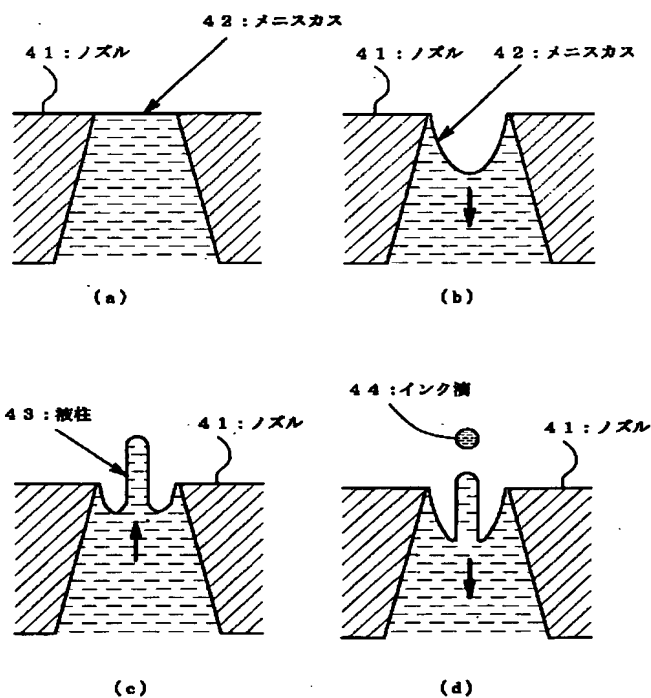
【図13】



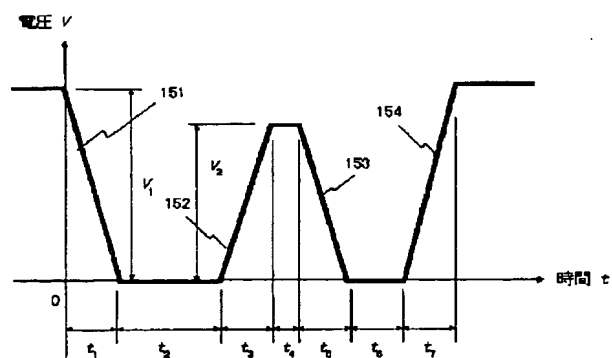
【図14】



【図15】

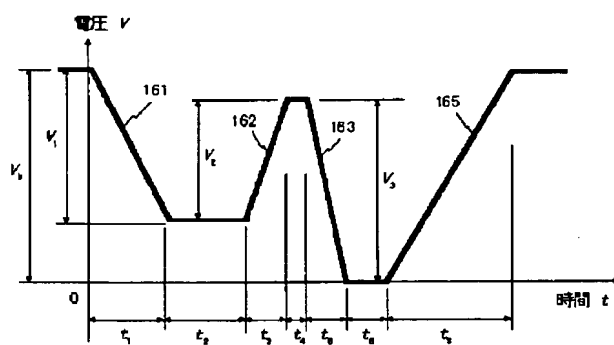


【図16】



(18)

【図 17】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**